

Människans upplevelse av termisk komfort och dess betydelse för byggnadskonstruktion

En utmaning av de rådande metoderna och standarderna

Niclas Laiho

Examensarbete / Degree Thesis

Distribuerade energisystem / Distributed Energy Systems

2015

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Distribuerade energisystem
Identifikationsnummer:	
Författare:	Niclas Laiho
Arbetets namn:	
Handledare (Arcada):	Jarmo Lipsanen
Uppdragsgivare:	Mikko Iivonen
<p>Sammandrag:</p> <p>År 1968 påvisade den franska fysiologen Michel Cabanac fenomenet <i>alliesthesia</i>. Fenomenet beskriver hur en retning upplevs av människan beroende på människans inre tillstånd. Retningen kan vara positiv eller negativ beroende på om den skapar jämvikt i kroppen eller rubbar jämvikten. Med avstamp i Cabanacs fenomen <i>alliesthesia</i> har forskare kommit fram till nya forskningsresultat som förklarar hur människan upplever <i>termisk komfort</i> och hur ett dynamiskt <i>termiskt inomhusklimat</i> upplevs som det mest behagliga för människan. De nya forskningsresultaten är omvälvande eftersom de utmanar de metoder och standarder enligt vilka byggnader konstrueras idag.</p> <p>När man talar om <i>termisk komfort</i> och <i>termiskt klimat</i> syftar man på värmeutbytet mellan en människa och hennes omgivning i inomhusklimat. Dessa begrepp används i kontexten av byggnadskonstruktion där det centrala ligger i hur en människa upplever ett inomhusklimat. Värmeutbytet mellan människan och hennes omgivning påverkas av faktorer som exempelvis lufterörelser, strålning från ytor, lufttemperatur, klädernas värmeisolerande effekt och människans aktivitetsnivå.</p> <p>Då man konstruerar byggnader är det viktigt att skapa ett inomhusklimat i vilket människan trivs. Idag konstrueras byggnader enligt ett antagande om att människan upplever den högsta nivån av termisk komfort i <i>statiska klimat</i>. Inom de senaste 15 åren har forskare kommit fram till att detta antagande är fel. Enligt ny forskning, som grundar sig i begreppet <i>alliesthesia</i>, trivs människan bäst i dynamiska klimat, inte i statiska.</p> <p>Detta arbete granskar de rådande metoderna och standarderna som ligger som grund för dagens byggnadskonstruktion och jämför dessa med nya forskningsresultat som nått resultat som påvisar att de rådande metoderna och standarderna inte stöder de principer enligt vilka byggnader borde konstrueras för att människan skall uppleva en möjligast hög termisk komfort.</p>	
Nyckelord:	Termisk komfort, termiskt klimat, inomhusklimat, <i>alliesthesia</i> , statiska klimat, dynamiska klimat.
Sidantal:	51
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Distribuerade energisystem
Identification number:	
Author:	Niclas Laiho
Title:	
Supervisor (Arcada):	Jarmo Lipsanen
Commissioned by:	Mikko Iivonen
<p>Abstract:</p> <p>In 1968 the French physiologist Michel Cabanac coined the term <i>alliesthesia</i>. It describes how a stimulus is perceived by a human being depending on the human body's inner state. The stimulus can be perceived as either positive or negative depending on if it restores the body's inner equilibrium or upsets it. Based on Cabanac's phenomenon researchers have been able to come up with new findings that explain how we humans experience thermal comfort. They have also come up with research that suggest that a <i>dynamic indoor environment</i> would be experienced as more pleasant. The findings are significant as they challenge the methods and standards that we use to construct buildings.</p> <p>When speaking of <i>thermal comfort</i> and <i>thermal environments</i> one refers to the heat exchange between a human and the surrounding indoor environment. These terms are used in the context of building construction, where the main idea is to take in consideration how humans experience indoor environments. The heat exchange between a human and the surrounding environment is affected by for example the movement of air, radiation, air temperature, insulation of clothes and the level of human activity.</p> <p>When constructing buildings it is important to create a pleasant indoor environment for its occupants. Nowadays the constructing of buildings is based on the belief that we experience a higher level of <i>thermal comfort</i> in <i>static environments</i>. In the last 15 years researchers have come to the conclusion that this belief is false. Based on new research that establishes itself in the phenomenon alliesthesia, humans enjoy a <i>dynamic environment</i> more than a <i>static environment</i>.</p> <p>This thesis examines the current methods and standards which is the basis of present building construction and compares them with new research findings. The findings show that our current methods and standards do not support the principles by which buildings should be constructed to create an indoor environment with the highest possible level of <i>thermal comfort</i>.</p>	
Keywords:	Thermal comfort, thermal environment, alliesthesia, dynamic environment, static environment
Number of pages:	51

Language:	Swedish
Date of acceptance:	

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Distribuerade energisystem
Tunnistenumero:	
Tekijä:	Niclas Laiho
Työn nimi:	
Työn ohjaaja (Arcada):	Jarmo Lipsanen
Toimeksiantaja:	Mikko Iivonen
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Vuonna 1968 ranskalainen fysiologi Michel Cabanac havaitsi ilmiön jota hän kutsui <i>alliesthesiaksi</i>. Ilmiö kuvaa kuinka ihminen reagoi ulkoiseen ärsykkeeseen riippuen hänen sisäisestä olotilastaan. Ärsyke voi olla joko positiivinen tai negatiivinen riippuen siitä luoko se kehon sisäistä tasapainoa vai häiritseekö se sitä. Cabanacin ilmiön perusteella monet tutkijat ovat päätyneet uusiin tutkimustuloksiin koskien ihmisen termistä viihtyvyyttä. Tutkijat ovat havainneet, että dynaaminen sisäympäristö koetaan ihmisen kannalta miellyttävimmäksi. Tutkimustulokset ovat merkittäviä koska ne kyseenalaistavat menetelmät ja standardit joihin nykypäivän rakentaminen perustuu.</p> <p>Termisellä viihtyvyydellä ja termisellä ympäristöllä tarkoitetaan ihmisen ja hänen ympäristönsä välillä sisätiloissa tapahtuvaa lämmönvaihtoa. Kyseiset termit ovat keskeisiä rakentamisessa ihmisen viihtyvyyden kannalta. Ihmisen ja ympäristön välillä tapahtuvaan lämmönvaihtoon vaikuttavat ilman liike, pintasäteily, ilman lämpötila, vaatteiden lämmöneristyskyky ja ihmisen aktiivisuusaste.</p> <p>Kun rakennetaan on tärkeää luoda ihmiselle sisäympäristö jossa hän viihtyy. Tänä päivänä rakennetaan taloja perustuen ajatukseen, että ihminen kokee maksimaalista termistä viihtyvyyttä staattisissa ympäristöissä. Viimeisten viidentoista vuoden aikana tutkijat ovat kuitenkin tulleet siihen lopputulokseen, että lähtökohta on virheellinen. Uusissa tutkimuksissa jotka perustuvat alliesthesia-ilmiöön on havaittu, että ihminen viihtyy parhaiten dynaamisissa ympäristöissä.</p> <p>Tämä lopputyö havainnoi tämänhetkisiä metodeja ja standardeja jotka ovat perustana nykypäivän rakentamisessa ja vertaa näitä uusiin tutkimustuloksiin. Tutkimustulokset osoittavat, että nykyiset standardit ja menetelmät eivät välttämättä tue niitä periaatteita joihin rakentamisen tulisi perustua pyrittäessä parhaimpaan mahdolliseen termiseen viihtyvyyteen.</p>	
Avainsanat:	Terminen viihtyvyys, terminen ympäristö, alliesthesia, dynaaminen ympäristö, staattinen ympäristö
Sivumäärä:	51
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	

Innehållsförteckning

1	Figurer och Tabeller	9
2	Inledning.....	11
2.1	Disposition	12
2.2	Metod.....	12
3	Termisk komfort.....	13
3.1	Termisk komfort och inomhusklimat.....	Error! Bookmark not defined.
3.2	Förhållandet mellan människa och inomhusklimat	13
3.3	Klimatets inverkan på människan.....	14
3.4	Människans anpassningsförmåga	15
3.5	Utvärdering av klimatets effekt på människan	16
4	Metoder och standarder i dagens byggnadskonstruktion.....	18
4.1	Bakgrund	18
4.2	Rådande standarder och metoder.....	19
4.3	ISO-standarder	21
4.4	Rådande undersökningsmetoder för termiska klimat.....	23
4.5	Slutsats - Problemet med de rådande metoderna och standarderna	26
5	Nya forskningsresultat – En utmaning till de rådande metoderna och standarderna.....	27
5.1	Alliesthesia – fenomenet som berett väg för nya forskningsresultat.....	27
5.2	Slutsatser för fenomenet alliesthesia enligt professor Hui Zhang.....	28
5.2.1	<i>University of California, Berkely (UCB) komfort modell – Hui Zhang.....</i>	<i>29</i>
5.2.2	<i>Termiska receptorer - Zhang.....</i>	<i>30</i>
5.2.3	<i>Termiska receptorer – Richard de Dear.....</i>	<i>31</i>
5.3	VTT:s beräkningsmodell för termisk komfort.....	33
5.4	HTM-modellen	33
5.4.1	<i>Forskningsresultat av HTM-modellen.....</i>	<i>34</i>
6	Ett nytt sätt att konstruera byggnader	36
6.1	Byggnadskonstruktion enligt Mikko Iivonen m.fl.	38
6.2	Byggnadskonstruktion enligt Richard de Dear	40
7	Egen undersökning	Error! Bookmark not defined.
8	Konklusion	45
9	Bilagor	48

10	Källförteckning
10.1	Tryckta källor
10.2	Elektroniska källor

1 FIGURER OCH TABELLER

Figur 1 Olika metoder att undersöka ett klimatproblem utgående från temperaturområdet. Vvs & energi 4/85 Människa och klimat, Ingvar Holmér.....	20
Figur 2 System för utvärdering av klimat. Vvs & energi 4/85 Människa och klimat, Ingvar Holmér	21
Figur 3 Sammanställning av begrepp. Vvs & energi 4/85 Människa och klimat, Ingvar Holmér.....	22
Figur 4 Sambandet mellan PPD och PWM. A Review of General and Local Thermal Comfort Models for Controlling Indoor Ambience, José A. Orosa Jose.	24
Figur 5 Olika personers komforttemperatur i förhållande till PPD. Niclas Laiho	25
Figur 6 Ett medeltal av komforttemperaturerna i jämförelse med PPD, Niclas Laiho.	26
Figur 7 Lokal uppvärmning av foten. Human Thermal Sensation and Comfort in Transient and Non-Uniform Thermal Environments, Hui Zhang.	28
Figur 8 Receptorernas aktiveringsintervall. Thermal physiology and comfort, Hui Zhang.....	30
Figur 9 Representation av en kall receptor. Thermal physiology and comfort, Hui Zhang.....	30
Figur 10 Egenskaperna hos människans termiska receptorer. Thermal physiology and comfort, Hui Zhang.	32
Figur 11 Informationen som krävs för att identifiera en persons termiska känsla. Ihmisen lämpövihtyvyysmalli Human Thermal Modell (HTM), VTT.....	34
Figur 12 Skillnaden i resultaten. HTM-malli osana suunnittelua sekä käytännön simulointiesimerkkejä, Johtava tutkija Pekka Tuomaala VTT.....	34
Figur 13 Resultat. HTM-malli osana suunnittelua sekä käytännön simulointiesimerkkejä, Johtava tutkija Pekka Tuomala VTT.....	35
Figur 14 Ritning Nokias huvudkontor som är delat in i olika zoner. White paper: Thermal Architecture, Mikko Iivonen Rettig ICC m.fl.....	39
Figur 15 Rutten som försökspersonerna följde	43
Figur 16 Jämförelsevärdet	45

Tabell 1 <u>Människans aktivitets nivå uttryckt i met. Vvs & energi 4/85 Inneklimat och välbefinnande, fil dr Bjarne W Olesen.....</u>	17
Tabell 2 Olika värden för klädsel uttryckt i clo. Vvs & energi 4/85 Inneklimat och välbefinnande, fil dr Bjarne W Olesen.....	17
Tabell 3 Antalet kalla och varma receptorer per cm ² . Thermalphysiology and comfort, Hui Zhang.....	31
Tabell 4 Avstånds resultaten från undersökningen.....	43
Tabell 5 IDA ICE simulerings resultaten, riktade operativa temperaturerna.....	44

.

2 INLEDNING

När man talar om *termisk komfort* och *termiskt klimat* syftar man på värmeutbytet mellan en människa och hennes omgivning i inomhusklimat. Dessa begrepp används i kontexten av byggnadskonstruktion där det centrala ligger i hur en människa upplever inomhusklimatet. Värmeutbytet mellan människan och hennes omgivning påverkas av faktorer som luftens rörelser t.ex. drag eller ventilation, strålning från ytor t.ex. värmeelement, kalla golv och fönster, luftens temperatur, klädernas värmeisolerande effekt och människans aktivitetsnivå.¹ Termisk komfort däremot är det begrepp som används för att beskriva hur människan upplever det termiska klimatet i form av känslor av välbegag eller obehag.

Enligt rådande standarder inom vetenskapen om termiskt klimat (ANSI/ASHRAE Standard 55) är termisk komfort det mentala tillstånd av välbegag eller obehag som människan upplever i sin termiska miljö. Denna känsla är alltid subjektiv och därför går det inte att säga att det finns ett entydigt svar på när den termiska miljön är korrekt för alla människor. Byggnader konstrueras idag enligt ett antagande om att människan upplever den högsta nivån av termisk komfort i *statiska klimat*.

Problemet med exempelvis konstruktionen av byggnader i dagens läge är att metoderna och standarderna, enligt vilka man mäter den termiska komforten och sedan konstruerar hus, inte tar i beaktande *dynamiska klimat* eller de nya forskningar som kommit fram till att människan upplever ett *varierande* klimat som mer tillfredsställande än ett statiskt klimat.

Grunden till forskningen om att människan upplever den största känslan av termisk komfort i dynamiska klimat baserar sig på det fysiologiska fenomenet *alliesthesia*. Redan år 1968 kom den franska fysiologen² *Michel Cabanac* på fenomenet *alliesthesia*.

¹ Nilsson 2000

² Cabanac et al. 1968

Med hjälp av fenomenet kunde Cabanac förklara beroendeförhållandet som människan uppfattar då hon upplever välbehag och obehag som följd av retning.³ Fenomenet alliesthesia var så gott som bortglömt fram till början av 2000-talet då forskare, bland dem professor *Hui Zhang*, på basen av fenomenet, har kunnat påvisa att människan upplever en hög nivå av termisk komfort i dynamiska klimat, inte i statiska.

Enligt de nya forskningarna av bland annat professor *Hui Zhang* vid University of California Berkely, Center for the Built Environment, Teknologiska forskningscentralen VTT och professor Richard de Dear vid University of Sydney upplever människan ett dynamiskt klimat dvs ett mångsidigt och varierande klimat, som mer behagligt än ett statiskt dvs oföränderligt och konstant klimat. Enligt forskningarna ligger problemet nu i att bland annat dagens byggnadskonstruktion fortfarande baserar sig på gamla metoder och standarder som inte beaktar nya forskningsresultat, utan som följer antagandet om att det är det statiska klimatet som lämpar sig bäst för människan.

Syftet med detta slutarbete är följaktligen att redogöra för de nya forskningsresultaten och därigenom utmana de rådande metoderna och standarderna som ligger som grund för dagens byggnadskonstruktion.

2.1 Disposition

Arbetet inleds med en introduktion till hur människan upplever termisk komfort i inomhusklimat och övergår sedan i en presentation av hur de rådande standarderna och metoderna för byggnadskonstruktion ser ut idag. På detta följer en presentation av nya forskningar som strävar till att omkullkasta de rådande metoderna och standarderna.

2.2 Metod

Genom att granska de rådande metoderna och standarderna och jämföra dessa med de nya forskningsresultaten försöker jag påvisa att det finns anledning att ifrågasätta de rådande metoderna och standarderna som ligger som grund för dagens byggnadskonstruktion.

³ <http://en.wikipedia.org/wiki/Alliesthesia>

3 TERMISK KOMFORT

3.1 Termisk komfort och inomhusklimat

Begreppet termisk komfort används för att beskriva hur människan upplever det termiska klimatet i form av känslor av välbehag eller obehag som resultat av retning. Begreppet termisk komfort behövs för att beskriva hur människan upplever sin termiska miljö till exempel i ett inomhusklimat.

Hur människan upplever inomhusmiljö beror på flera olika, ofta samverkande faktorer. Dessa faktorer är bland annat ljud, elmiljö, ljus, luftkvalitet och termiskt klimat som kan läggas under kategorin ”fysisk miljö”. Denna fysiska miljö samverkar med faktorer som är kopplade till individen så som sociala faktorer, fysiologiska faktorer, genetiska faktorer och psykologiska faktorer. Samma inomhusmiljö kan ändå aldrig förväntas tillfredsställa alla, då alla individer är olika och besitter olika förutsättningar och preferenser då det kommer till när de upplever största möjliga termiska komfort. Att konstruera byggnader, där man utgår ifrån den enskilda individens upplevelse av optimal termisk komfort, är därför enligt nya forskningsresultat av stort värde.⁴

3.2 Förhållandet mellan människa och inomhusklimat

Att beskriva förhållandet mellan människan och inomhusklimatet är inte helt trivialt. Det existerar idag ingen formel som på ett enkelt sätt skulle beskriva hur människan påverkas av det klimat i vilket hon befinner sig. Däremot har det utvecklats olika metoder som strävar till att beskriva termiska klimatproblem. Problematiken ligger här i att komma underfund med enhetliga och användbara metoder.⁵

Idag är det allt vanligare att människor har svårigheter med klimatet på sin arbetsplats. Svårigheterna varierar beroende på om arbetet utförs på kontor, utomhus eller inom diverse arbeten inom industri.⁶ De vanligaste problemen i vår arbetsmiljö har att göra med värme, kyla och drag. Problemen beror bland annat på vårt geografiska läge, energibesparingskampanjer och sänkta inomhustemperaturer. De ökande

¹ Nilsson 2000

⁵ Holmér 1985

⁶ Gavhed 2006

arbetsmiljöproblemen berör kontorslokaler, bostäder, verkstäder med flera. Dagens ventilationsanläggningar styrs av människans behov och krav, byggnadstypen samt av verksamheten. Det är ändå vanligt att byggnadstypen och verksamheten prioriteras fram om människans behov och krav, vilket leder till att arbetsmiljöomständigheterna för den enskilda människan sällan blir lämpliga.⁷

3.3 Klimatets inverkan på människan

Människan påverkas av klimatet på flera olika sätt. Det kan handla om allt från värmeslag och förfrysning till känslan av obehag en människa upplever till följd av att ha blivit utsatt för drag. På kontor och i bostäder är det främst låg- och högtemperatur, olämplig luftfuktighet och drag som skapar problem. Problemen är givetvis individuella och förekommer på grund av brist på värmebalans hos individer, det vill säga känslan av att det är för varmt eller för kallt. Olika delar av människokroppen reagerar på olika sätt beroende på vad vi utsätts för. Vi känner exempelvis olika grader av värme lokalt i våra ben, axlar och nacke. Dessa känslor orsakas bland annat av kalla golv och väggar samt av luftströmmar.⁸

Klimatet påverkar även människans prestationsförmåga på flera plan. Bland annat påverkas vårt tänkande, vår förmåga att observera samt vår fysiska arbetsförmåga, som innefattar kraft och uthållighet. En del forskare har kommit fram till att vår konstruktiva förmåga och kreativitet sannolikt fungerar bäst då vi upplever att det är lite på den varmare sidan och vi känner oss avslappnade. Medan då det är svalare ökar däremot vår koncentration och förmåga att upptäcka signaler. Även vår vakenhetsgrad, som inverkar på flera av våra sinnen, påverkas av klimatet. Då vi befinner oss i ett klimat med låg temperatur försämras vår duglighet att utföra arbetsuppgifter som kräver fingerfärdighet eftersom kylan får musklerna att mista sin kraft och snabbhet. Däremot ökar vår fysiologiska belastning på kroppen när det är varmt, som i sin tur inverkar negativt på vår uthållighet och arbetskapacitet.⁹

⁷ Holmér 1985

⁸ Holmér 1985

⁹ Holmér 1985

3.4 Människans anpassningsförmåga

En av människans första reaktioner då hon utsätts för ett nytt klimat är att ändra på sitt beteende. Kroppen reagerar genom att krypa ihop då det är kallt och sträcka ut sig då det är varmt. Även det vi gör, våra fysiska handlingar, påverkas av klimatet. Då det är kallt jobbar vi hårdare så att kroppen skall hållas varm och i varma förhållanden håller vi oftare pauser. I en lokal flyttar vi till exempel oss till en annan plats eller så försöker vi själva ändra på klimatet genom att exempelvis klä på oss mera kläder om vi känner kyla eller öppna ett fönster om vi känner att det är varmt.

Möjligheten att i hög utsträckning kunna anpassa vår klädsel och vår aktivitet motsvarar flera graders förändring i lufttemperaturen. På arbetsplatser där man exempelvis är bunden till en specifik arbetsplats, utför en monoton arbetsuppgift och dessutom påverkas av strikta regler gällande klädsel är det inte alltid möjligt att själv påverka sin klädsel eller aktivitet. Då kan kroppen med en serie fysiologiska mekanismer anpassa sig till en klimatförändring genom att reglera blodcirkulationen i hud och extremiteter. Kroppen kan även börja svettas eller huttra. Värme får blodcirkulationen att öka och om uppvärmningen fortsätter börjar kroppen svettas.¹⁰ På ingenjörsspråk kan människokroppen ses som en maskin som hela tiden reglerar sig själv. När temperaturen i våra inre organ stiger öppnas det ventiler som får blodcirkulationen att öka.¹¹

Att svettas gör att huden blir fuktig och vattenångtrycket ökar lokalt, vilket möjliggör att svetten kan avdunsta. Svetten har hög förångningsentalpi som gör att stora mängder värmeenergi kan avges genom att svettas. I låga temperaturer avtar däremot blodcirkulationen till fötter, händer och huden. Temperaturen i dessa extremiteter sjunker gradvis och om nedkylningen fortsätter börjar kroppen rysa. Till sist börjar kroppen huttra, det vill säga kroppen börjar alstra värme med hjälp av ofrivilliga muskelkontraktioner.¹²

Flera undersökningar ger bevis på att vi har många egenskaper som inverkar på vår individuella känsla av värme. Metabolismen, det vill säga kroppens inre värmeproduceringsmekanism, påverkas av kroppens uppbyggnad och särskilt av mängden muskler. Som exempel kan vi tänka oss ett åldringshem där en boende är

¹⁰ Holmér 1985

¹¹ RYM Oy 2014

¹² Holmér 1985

klädd i en yllejacka medan en ung mer muskulös skötare endast är klädd i en kortärmad arbetsskjorta. En muskulös person klarar sig betydligt bättre i kalla förhållanden än en person med övervikt. Åldern inverkar även på värmeproduktionen då unga män och kvinnor i proportion har mera muskelvävnad än äldre personer. Muskulerna producerar till och med tusen gånger mera värme än vad fett gör.¹³

3.5 Utvärdering av klimatets effekt på människan

Faktorerna som bestämmer klimatets påverkan på människan är: lufttemperatur, medelstrålningstemperatur, lufthastighet och luftfuktighet. Utöver dessa yttre faktorer påverkas människan även av aktivitet och klädsel.¹⁴ Den fysikaliska enheten för aktivitet anges i *met* där $1 \text{ met} = 58 \text{ W/m}^2$. En *met* är jämförbar med metabolismen hos en person som sitter stilla. Tabell 1 illustrerar ett antal *met*-värden för personer i olika aktivitet. Enheten för termisk isolation i kläder anges i *clo*, där $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2\text{C/W}$. Vanliga värden för *clo* illustreras i Tabell 2.¹⁵

¹³ RYM Oy 2014

¹⁴ Holmér 1985

¹⁵ Olesen 1985

Tabell 1 Människans aktivitets nivå uttryckt i met. Vvs & energi 4/85 Inneklimat och välbefinnande, fil dr Bjarne W Olesen

Aktivitet	Meta- bolism (met)
<i>Vila</i>	
Sovande	0,8
Stilla sittande	1,0
Stilla stående	1,2
<i>Vandrande på ett plan</i>	
3,2 km/h	2,0
5,3 km/h	3,0
6,7 km/h	4,0
<i>Vandrande uppför lutning 1/20</i>	
1,6 km/h	2,4
3,2 km/h	3,0
4,8 km/h	4,0
<i>Kontorsarbete</i>	
Maskinskrivning, elektrisk skrivmaskin 40 ord/min	1,2
Dito, mekanisk skrivmaskin 40 ord/min	1,4
Diverse kontorsarbete	1,0-1,4
<i>Laboratoriearbeten</i>	
Studier i mikroskop	1,4
Generellt lab arbete	1,6
Montering av apparater	2,2
<i>Verkstadsarbeten</i>	
Lätt (elektrisk industri)	2,0-2,5
Maskinarbeten	3,0
Tungt	4,0
<i>Fordonsförare</i>	
Bil i tät trafik (manuell växel)	1,0-1,2
Bil i stadstrafik (manuell växel)	2,0
Tung lastbil	3,0
<i>Diverse sysselsättningar</i>	
Bakning, diskning, packningsarbeten	1,4-2,0
Bryggeriarbeten (fyllning av buteljer, lyfta ölbackar etc)	1,2-2,5
Bilverkstadsarbeten (byta däck, domkraftsarbeten etc)	2,2-3,0
Plåtslageri	2,0-2,5
Affärsbiträde	2,0
<i>Hemarbete</i>	
Städarbeten	2,0-3,5
Matlagning	1,6-2,0
Diskning	1,6
Tvätt och strykning (manuellt)	2,0-3,5
Shopping	1,6

Tabell 2 Olika värden för klädsel uttryckt i clo, clo värdet anger klädernas värme isolerande förmåga. Vvs & energi 4/85 Inneklimat och välbefinnande, fil dr Bjarne W Olesen

Beskrivning av klädedräkt	Isolering (clo)
Naken	0
Shorts	0,1
Typisk "tropisk" klädedräkt (shorts, öppen kortärmad skjorta, + tunna strumpor och sanda- ler)	0,3-0,4
Lätt sommarklädsel (tunna långbyxor, öppen kortärmad skjorta)	0,5
Lätt arbetsklädsel (tunna långbyxor, yllesockor + utanpåskjorta, bomull)	0,6
Sommarkostym typisk arbetsklädsel (sockor, underkläder, byxor, skjorta, skor)	0,8
Typisk arbetskostym (normal klädsel inomhus vintertid)	1,0
Bomullsrock utanpå kostym	1,5
Lätta fritidskläder	0,8-1,0
Traditionell kontorsklädsel med väst, skjorta	1,5
1,0 clo är ekvivalent med 0,155 Km ² /W	

4 METODER OCH STANDARDER I DAGENS BYGGNADSKONSTRUKTION

Som tidigare nämnts baserar sig konstrueringen av byggnader idag på metoder och standarder som utgår ifrån forskningsresultat som menar att människan upplever mest välbehag i statiska klimat. Nya forskningsresultat har nu börjat ifrågasätta de rådande metoderna och standarderna då de nya forskningsresultaten till motsats av de gamla påvisar att människan trivs bättre i dynamiska klimat. Ifall detta stämmer innebär det att vi sannolikt närmar oss en tid då de rådande metoderna och standarderna är föråldrade och måste omvärderas. För att förstå varför detta kan vara en period av förnyelse kommer jag i detta kapitel att presentera de rådande metoderna och standarderna för byggnadskonstruktion samt vilka antaganden som vilar i grunden för dessa metoder och standarder, för att sedan i följande kapitel presentera de nya forskningsresultaten mot denna bakgrund.

4.1 Bakgrund

Det har forskats mycket i hur människan upplever termisk komfort för att konstrueringen av byggnader skall förverkligas så att slutresultatet utgör ett möjligtast behagligt inomhusklimat för människan. Så gott som alla tidigare forskningar baserar sig på tanken om att statiska klimat utgör det behagligaste klimatet för människan. Det innebär att människans metabolism har vant sig med det omringande klimatet. Det statiska klimatet kännetecknas av jämna temperaturer, bristen på luftrörelse och jämn luftfuktighet.

Under årens lopp har många metoder för att undersöka sambandet mellan människan och klimatet föreslagits. Metoderna kan delas in i två kategorier. Den första kategorin innefattar de *empiriska metoderna* som baserar sig på experimentella undersökningar av den psykologiska eller fysiologiska klimatpåverkan. Den andra kategorin utgörs av de *analytiska metoderna* som baserar sig på kvantitativ analys av förutsättningarna för värmebalans. Den empiriska metoden är i allmänhet lätt att ställa upp och använda, men dess giltighet begränsas till metodens betingelser, i motsats till de analytiska indexen som kan användas mer allmänt, men som kräver mera omfattande undersökningar av

sakkunniga. För att tillfredsställa de flesta utvärderingsbehoven och användningsområdena skulle det troligt räcka med att kombinera en enkel empirisk metod och en allmän analytisk metod.¹⁶

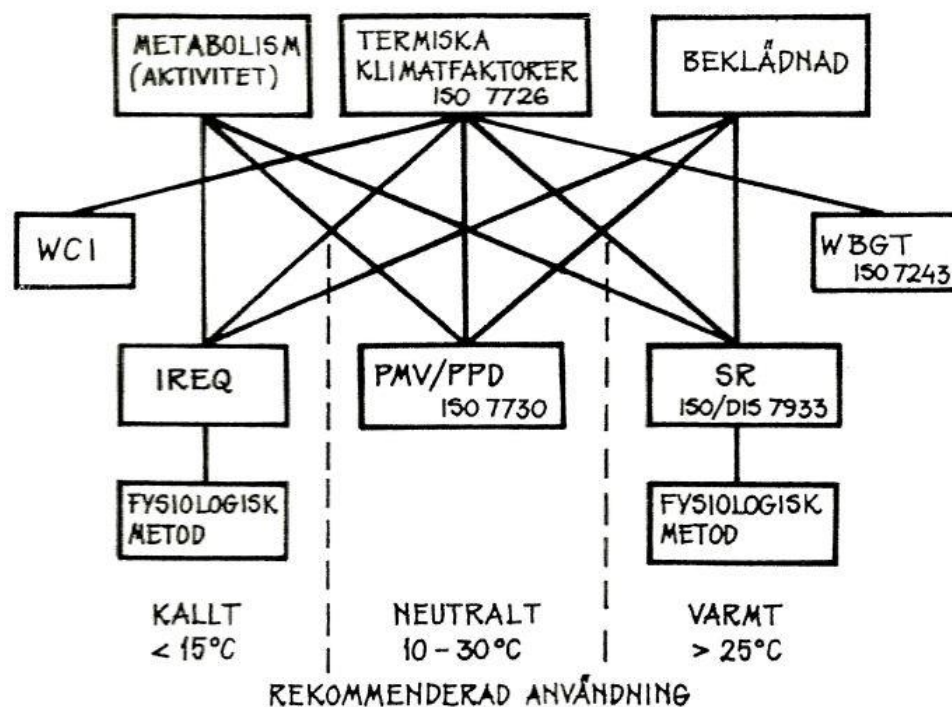
4.2 Rådande standarder och metoder

Grunden till de metoder som används i dag vid bland annat husbyggen, går tillbaka tiotals år. Idag börjar behovet av nya metoder att utvärdera det termiska klimatet och dess inverkan på människan kännas påtaglig, då forskare har kommit fram till att dynamiska klimat utgör en större känsla av termisk komfort för människan. Detta innebär följaktligen att de gamla metoderna kan anses föråldrade och åtminstone bör begrundas och ifrågasättas i relation till nya forskningsresultat.

De rådande metoderna redovisas i olika ISO-standarder som har gjorts av *ISO-kommittén TC 159 Ergonomi*, vars huvuduppgift är att arbeta med termiska klimat. Sedan år 1976 har en arbetsgrupp inom den tekniska kommittén arbetat med ISO-standarder. Kommittén har sammanställt tre färdiga ISO-standarder som redovisas i figur 1. Helheten innefattar metoder för att mäta olika klimatfaktorer, klädsel och metabolism samt analytiska metoder i form av olika index. Metoderna går att tillämpa i varma, kalla och neutrala förhållanden.¹⁷

¹⁶ Holmér 1985

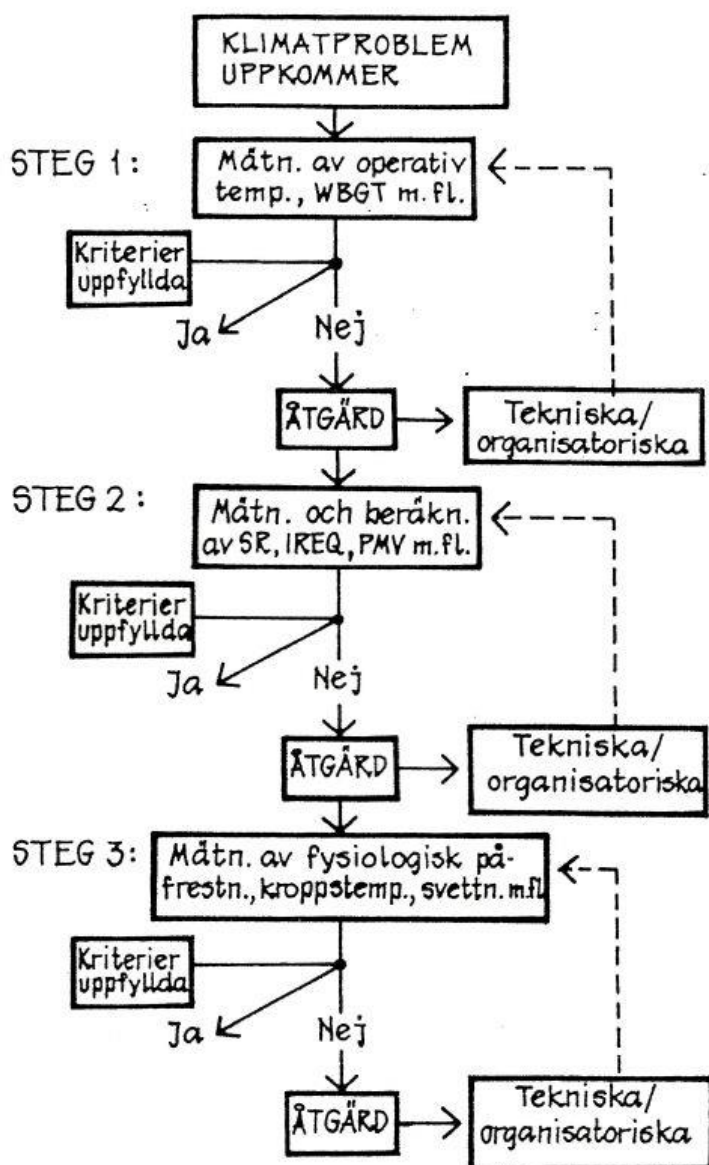
¹⁷ Holmér 1985



Figur 1 Olika metoder att undersöka ett klimatproblem utgående från temperaturområdet. Vvs & energi 4/85 Människa och klimat, Ingvar Holmér

På grund av att varierande förhållanden ställer olika krav på hur man undersöker klimat har olika system utvecklats för att underlätta utvärderingarna. Tankebanan redovisas i figur 2. När ett klimatproblem identifieras krävs en serie olika mätningar för att bedöma arten av problemet och problemets omfattning. Metoderna är indelade i tre olika steg. Om man utför en mätning med hjälp av metoderna i steg 1 och anser att resultaten inte beskriver problemet tillräckligt bra fortsätter man till de mer krävande metoderna i steg 2, som ger en betydligt djupare analys av klimatproblemet. I krävande förhållanden kan metoderna i steg 3 lämpa sig bättre för att beskriva klimatproblem.¹⁸

¹⁸ Holmér 1985

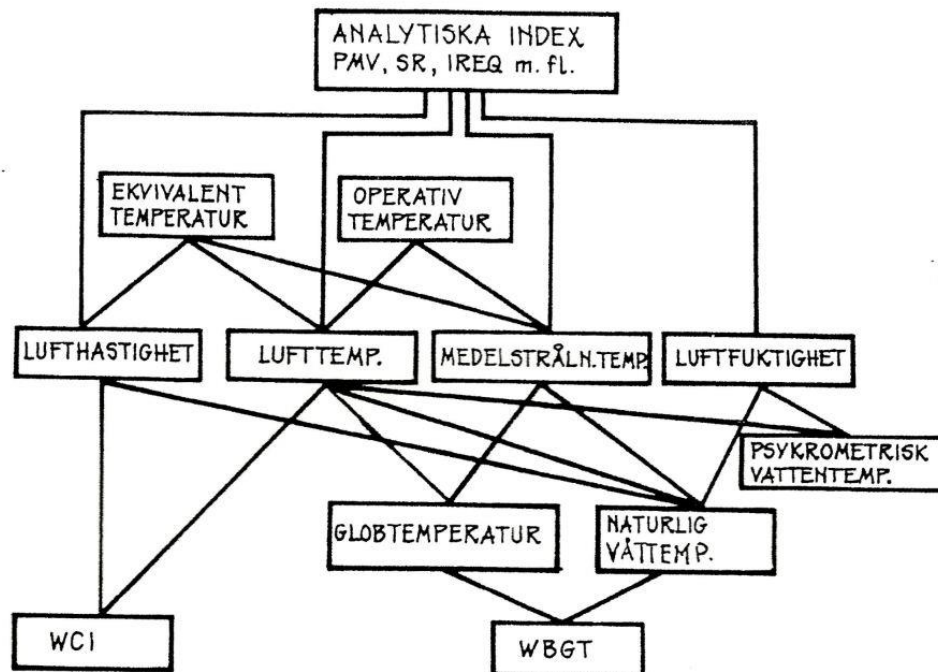


Figur 2 System för utvärdering av klimat. Vvs & energi 4/85 Människa och klimat, Ingvar Holmér

4.3 ISO-standarder

ISO-standarden 7726 beskriver olika krav och specifikationer gällande metoder och instrument för mätning av specifika klimatfaktorer. I figur 3 redovisas en sammanställning av olika begrepp från dessa metoder. De primära klimatfaktorerna är lufthastighet, lufttemperatur, medelstrålningstemperatur och luftfuktighet. Ur dessa klimatfaktorer har man härlett ekvivalenttemperatur och operativtemperatur. De primära klimatfaktorerna ligger som grund för de analytiska indexen: SR (Sudation Requite), PMV (Predicted Mean Vote) och IREQ (Required Insulation). I den nedre delen av

figuren illustreras sambandet mellan empiriska klimatmått och index; WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), WCI (Wind Chill Index), naturlig våttemperatur globetemperatur och psykometrisk vattentemperatur.¹⁹



Figur 3 Sammanställning av begrepp. Vvs & energi 4/85 Människa och klimat, Ingvar Holmér

ISO-standard 7730 presenterar metoder för att förutspå allmän termisk känsla och obehag. Den möjliggör analytisk examinering av beräkningar gällande termisk komfort med hjälp av PMV (Predicted Mean Vote) och PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) samt lokal termisk komfort.²⁰

ANSI/ASHRAE 55 (Thermal Environment Conditions for Human Occupancy) är en standard som behandlar de lägsta kraven för godtagbar termisk inomhusklimat. Den redogör för olika inomhusklimat och dess villkor för att skapa termisk komfort. Standarden publicerades år 1966 och sedan år 2004 har den uppdaterats med jämna mellanrum av ASHRAEs tekniska kommité. Standarden beskriver olika modeller och

¹⁹ Holmér 1985

²⁰ <http://www.iso.org/>

metoder som används för att skapa termisk komfort i olika byggnader, bland annat PMV- och PPD-metoden²¹.

4.4 Rådande undersökningsmetoder för termiska klimat

Termiska klimat kan indelas i tre olika temperaturområden. De tre områdena är: *kalla områden* som anses vara områden som har en temperatur som är lägre än 15°C. Vanliga bedömningsmetoder och index i det kalla området är WCI, IREQ och effektiv temperatur. Det *neutrala området* innefattar temperaturer som sträcker sig från 10°C – 35°C som bland annat analyseras med hjälp av PMV, ekvivalent temperatur och operativ temperatur. *Varma områden*, där temperaturen är större än 30°C, använder sig av WBGT och SR som bedömningsmetoder.²²

Operativ temperatur är ett medelvärde av lufttemperaturen och medelstrålningstemperaturen i förhållande till en människokropp. Mätningen sker till exempel genom att en ”kropp” som liknar människokroppen projiceras till omgivningen. Kroppen bör vara av lämplig form så att den inte påverkas för mycket av strålning eller lufttemperatur. Det rekommenderas att kroppen har formen av en elipsoid. Ekvivalent temperatur är operativ temperatur där luftrörelsens inverkan har medtagits. Måttet är beroende av människans klädsel, det vill säga av klädernas termiska isoleringsförmåga.

IREQ (Required Insulation) används då man skall komma underfund med förutsättningarna för värmebalans i kyla. Metoden kombinerar aktivitet och klimat i det avseende att tillräcklig isolering används för att uppnå värmebalans i ett specifikt klimat. IREQ är huvudsakligen ett mått på miljön, men IREQ kan även användas för att bestämma över lämplig klädsel. WCI (Wind Chill Index) vindkyleindex är en metod som tillämpar sig för mätning av den lokala klimatpåverkan på oskyddad hud.²³

PMV (Predicted Mean Vote) och PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) skapades av P.O. Fanger år 1970. Modellerna är bland de mest använda verktygen för att förutspå termisk komfort.²⁴ Modellerna ser människan som en passiv mottagare av termisk

²¹ http://en.wikipedia.org/wiki/ASHRAE_55

²² Magnusson 1985

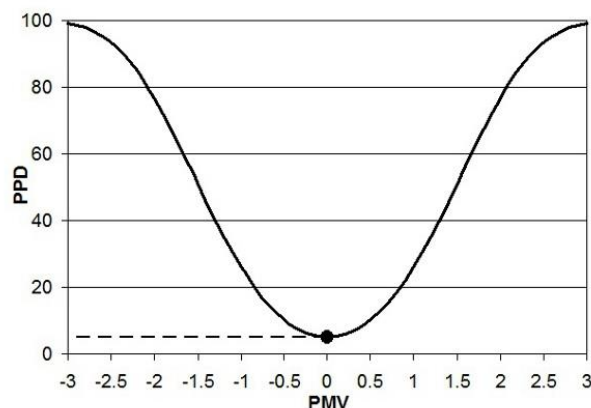
²³ Holmér 1985

²⁴ de Dear 2014

stimuli samt antar att den omringande miljöns påverkan endast kan förklaras med fysikaliska lagar för mass- och värmetransport mellan människokroppen och miljön.²⁵

PMV är ett skalindex som baserar sig på medelutlåtandet hos en stor grupp försökspersoner.²⁶ PMV är uppbyggt av sex olika faktorer: aktivitet uttryckt i *met*, luftfuktighet, strålningstemperatur, lufttemperatur, luft rörelse och klädsel. PMV tar jämfört med ekvivalent temperatur ytterligare i betraktande aktivitet och luftfuktighet. Aktivitet kombinerat med klädsel är av avgörande betydelse då den bestämmer den önskade komforttemperaturen. För varje kombination av klädsel och aktivitet finns här av en egen komforttemperatur där sannolikt en större del av en grupp människor med samma aktivitet och klädsel upplever det specifika termiska klimatet tillfredställande. Den så kallade PMV-skalan (-3, -2, -1.0, 1, 2, 3) är ett förenklat samband som består av de sex olika klimatfaktorena.²⁷ ISO-normerna råder att PMV-värdet skall vara inom $\pm 0,5$ för att uppnå termisk komfort. Det leder till att mindre än 10 % av en grupp människor med samma aktivitet och klädsel är otillfredsställda.

PPD-indexet (Predicted Percentage of Dissatisfied) uttrycker den förväntade procentuella andelen människor som är otillfredsställda med ett specifikt termiskt klimat.²⁸ Figur 4 redovisar sambandet mellan PPD/PMV.



Figur 4 Sambandet mellan PPD och PWM. A Review of General and Local Thermal Comfort Models for Controlling Indoor Ambience, José A. Orosa Jose.

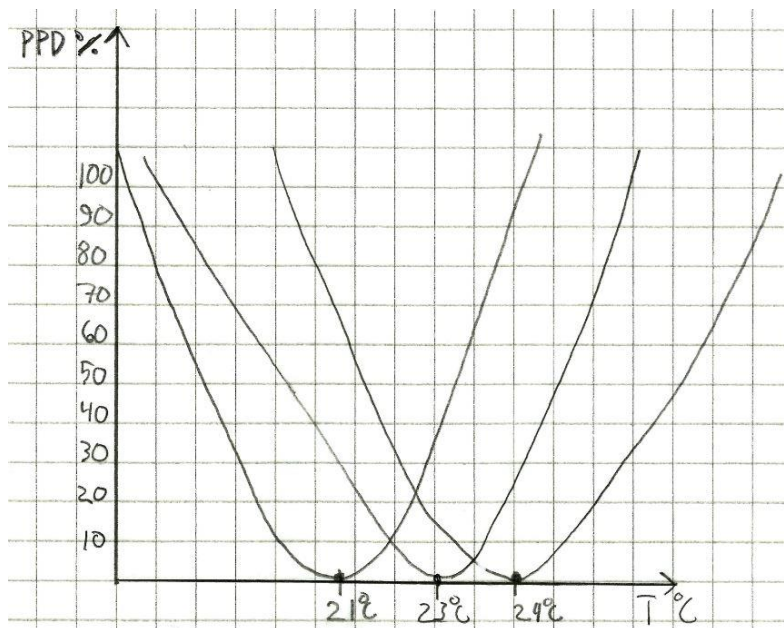
²⁵ M. Iivonen et al 2014

²⁶ Olesen 1985

²⁷ Magnusson 1985

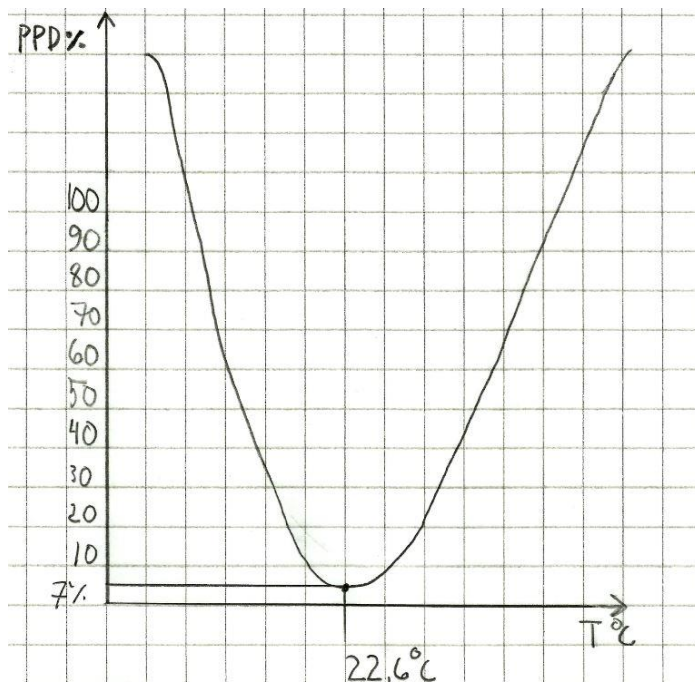
²⁸ Olesen 1985

I praktiken kan man bland annat illustrera PPD med hjälp av två diagram. PPD-indexet på y-axel anger otillfredsställelseprocenten (0-100 %, där 100 % är enormt otillfredsställd/möjligast missnöjd) och x-axeln anger den temperatur som uppges behaglig. Då bildas det en parabolfunktion som har olika personers komforttemperaturer i förhållande till deras känsla av otillfredsställelse. I figur 5 finns tre personers komforttemperatur som är den temperaturen där de är tillfredsställda.



Figur 5 Olika personers komforttemperatur i förhållande till PPD. Niclas Laiho

När man sedan beräknar ett medeltal av de tre personernas komforttemperaturer får man värdet 22.6°C. Medetalet skiljer sig från personernas egna komforttemperaturer och därmed är alla inte fullständigt tillfredsställda. Detta illustreras i figur 6 där man kan se att det förekommer ett missnöje på 7%.



Figur 6 Ett medeltal av komforttemperaturerna i jämförelse med PPD, Niclas Laiho.

Från figuren kan man dra slutsatsen att det förekommer ett missnöje på 7 % med en komforttemperatur på 22,6°C. Det vill säga alla är inte nöjda med den i frågavarande temperaturen. Exemplet redogör på en lätt nivå funktionen av PPD som en metod och visar att vi godkänner att alla inte kommer att vara nöjda i en byggnad där temperaturen hålls på en bestämd nivå.

4.5 Slutsats - Problemet med de rådande metoderna och standarderna

Det gemensamma med alla de rådande standarderna, och det som gör att metoderna kan anses föråldrade, är att de endast lämpar sig för statiska inomhusklimat som kännetecknas av jämna temperaturer, jämn luftfuktighet och bristen på luftströmmar. Dessa metoder ligger ändå som grund för konstruering av byggnader i dagens läge. En av de mest använda metoderna är Fangers PMV/PPD metod som är enkel att utföra och ger klara resultat. Det negativa är dock att metoden baserar sig på medelutlåtandet hos en grupp människor, vilket leder till att det alltid finns människor som inte är nöjda med det rådande klimatet. Missnöjet med det rådande klimatet utgörs av PPD indexet som ger en procentuell uppskattning på mängden otillfredsställda. Det här betyder att vi ideligen konstruerar byggnader där vi vet att alla inte kommer att trivas.

5 NYA FORSKNINGRESULTAT – EN UTMANING TILL DE RÅDANDE METODERNA OCH STANDARDERNA

Största delen av alla metoder som används för att undersöka termisk komfort är, som tidigare konstaterats, endast användbara i statiska klimat. Varför man allt jämt även konstruerar byggnader som stöder tanken om att människan trivs bäst i ett statiskt klimat. Begreppet *alliesthesia*, som uppfanns av den franska fysiologen Michel Cabanac år 1968 började användas igen på 2000-talet i forskningen av termisk komfort. Artikeln i vilken fenomenet först publicerades år 1968 heter "*Influence of internal factors on the pleasantness of a gustative sweet sensation. Commun Behav Biol Part A*". Begreppet *alliesthesia* kom att lägga grunden för nya forskningar, som använder sig av det fysiologiska begreppet för att bevisa hur människan upplever termisk komfort.

5.1 Alliesthesia – fenomenet som berett väg för nya forskningsresultat

Fenomenet *alliesthesia* beskriver hur en retning upplevs av människan beroende på människans inre tillstånd. Retningen kan vara positiv eller negativ beroende på om den skapar jämvikt i kroppen eller rubbar jämvikten. Den fysiologiska strävan att uppleva välbefinnande motiverar beteende som skapar jämvikt i kroppen. Till exempel en människa som är uttorkad upplever smaken av vatten som behaglig, vilket i sin tur motiverar beteendet att tillföra vatten i kroppen. När törsten är släckt upphör lusten av vatten och följaktligen även det associerade beteendet.²⁹

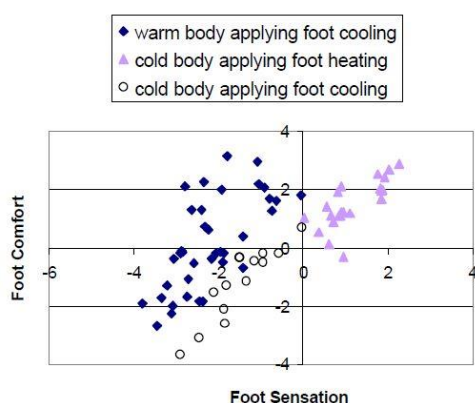
En av forskarna som ifrågasätter de rådande metoderna och standarderna för byggnadskonstruktion är professor *Richard de Dear*. Hans definition på begreppet *alliesthesia* är: "*Any external or environmental stimulus that has the prospect of restoring the controlled variable within the milieu interieur to its set-point will be perceived as pleasant (positive alliesthesia), while any environmental stimulus that will further displace the error between the controlled variable and its set-point will be perceived as distinctly unpleasant (negative alliesthesia)*".

Samma fenomen (*alliesthesia*) gäller också för retningar av termisk karaktär, så kallad *termisk alliesthesia*.³⁰ Professor *Hui Zhang* har gjort en anpassad definition på

²⁹ de Dear 2014

³⁰ <http://en.wikipedia.org/wiki/Alliesthesia>

begreppet där hon menar att termisk alliesthesia är: “*Alliesthesia är sensorisk tillfredsställelse med variation. En retning som i kortvarade icke-konstanta miljöer försöker återställa kroppens termiska komfort och skapa en behaglig känsla*”.³¹ Ett exempel på det som Zhang upptäckte i sin undersökning illustreras i figur 7. Exemplet visar att när hela kroppen är kall ökar komforten då man lokalt värmer en kroppsdel, i detta fall foten.



Figur 7 Påverkan av lokal uppvärmning av foten med avseende på termisk komfort och känsla. Human Thermal Sensation and Comfort in Transient and Non-Uniform Thermal Environments, Hui Zhang.

5.2 Slutsatser för fenomenet alliesthesia enligt professor Hui Zhang

Statiska och isotermiskt neutrala miljöer är energiintensiva och klarar inte av att tillfredsställa mer än 80 % av en grupp människor. En mera termiskt varierande och icke-konstant miljö skulle tillfredsställa en större mängd personer, skapa en känsla av välbefinnande samt möjliggöra att energi skulle kunna användas där det behövs. Zhang menar att lokal uppvärmning och nedkylning av kroppsdelar skulle leda till termisk komfort.³²

³¹ Zhang 2013, Original text: “*Sensory pleasure with variation. In transient or non-uniform environments, an environmental stimulus that has the prospect of restoring body to thermal comfort, that is perceived as very pleasant (positive alliesthesia)*”.

³² Zhang 2013

5.2.1 University of California, Berkely (UCB) komfort modell – Hui Zhang

En av de mest framstående nya forskarna inom termisk komfort är professor Hui Zhang. Nedan presenteras hennes forskning och slutsatser, samt professor Richard de Dears syn på samma ämne.

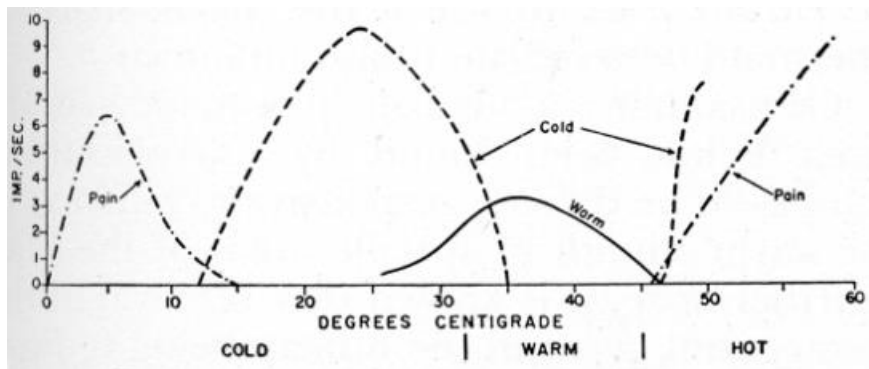
UCB komfort modell förutspår termisk känsla (thermal sensation) och termisk komfort både lokalt och i hela kroppen. Modellen baserar sig på Stolwijks modell av människans reglering av kroppstemperatur, men inkluderar flera förbättringar. Den nya modellen tillåter indelningen av kroppen i oändligt många segment till skillnad från Stolwijks modell, som endast kunde delas in i sex segment. Varje segment framställs som fyra olika kroppsskikt: hud, fett, muskler och det innersta skiktet. UCB komfort modell presenterar blodcirkulationen, värmeförluster genom avdunstning (svettning), konvektion, strålning, konduktion samt värme och fuktledning i kläder.³³

En av forskningarna som nått fram till nya resultat i kunskapen om termisk komfort är professor Hui Zhangs forskning vid University of California, Berkely, som utfördes i universitetets reglerbara miljökammare med hjälp av 109 olika människotest. Testet utfördes i ett *dynamiskt klimat* där försökpersonernas olika kroppsdelar lokalt utsattes för kyla och värme medan resten av kroppen antingen var kall, neutral eller varm. Hudens temperatur, kroppens inre temperatur och känslan av termisk komfort daterades med en – tre minuters mellanrum. På basen av resultaten gjordes en modell för att uppskatta termisk komfort.

Enligt Zhangs forskning kan människan uppfatta olika grader av kyla och värme som sträcker sig från kallt till svalt, från neutralt till varmt och till slut till hetta. Tre olika sensoriska organ, det vill säga receptorerna för kyla, värme och smärta, ger oss möjligheten att skilja på olika grader av termisk känsla. Den relativa intensiteten av retningarna bestämmer hur personen upplever klimatet runt sig. Receptorerna aktiverar sig i vissa specifika intervall som illustreras i figur 8. I höga temperaturer som upplevs som smärtsamma är receptorerna för känslan av värme inaktiva medan receptorerna för smärta är aktiva. Samma sak gäller för mycket låga temperaturer. De kalla receptorerna

³³ Huizenga 2001

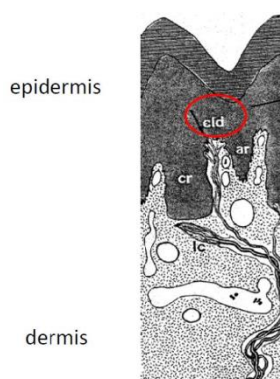
är aktiva i ett område som varierar mellan 12 och 35°C, medan de varma receptorerna är aktiva i ett område på 25 till 46°C ³⁴



Figur 8 Receptorernas aktiveringsintervall. *Thermal physiology and comfort*, Hui Zhang.

5.2.2 Termiska receptorer - Zhang

De termiska receptorerna ligger som grund för att människan har förmågan att uppleva känslan av värme och kyla. De kalla receptorerna ligger direkt under överhuden på 0.15 mm – 0.17 mm, medan de varma befinner sig på 0.3 mm – 0.6 mm djup i den övre delen av läderhuden. Figur 9 illustrerar placeringen av de kalla receptorerna i huden. ³⁵



Figur 9 Representation av en kall receptor i människohuden, där cld är den kalla receptorn. *Thermal physiology and comfort*, Hui Zhang.

³⁴ Zhang 2003

³⁵ Zhang 2013

Mängden, varianten och placeringen av de termiska receptorerna beror på kroppsdel.
Se tabell 3.

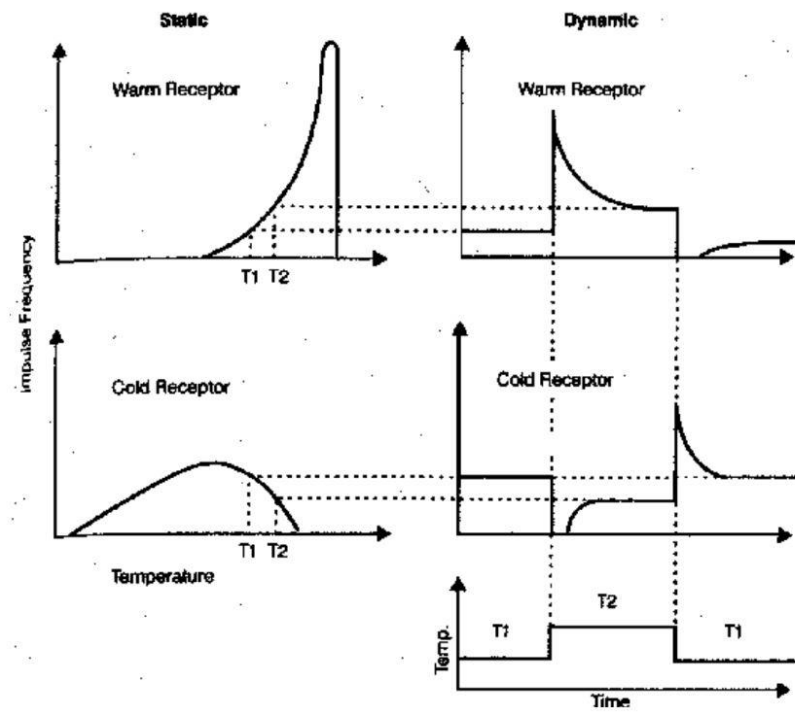
Tabell 3 Antalet kalla och varma receptorer per cm². *Thermalphysiology and comfort, Hui Zhang.*

	cold receptors	warm receptors
Forehead	5.5- 8	
Nose	8	1
Lips	16 -19	
Other parts of face	8.5- 9	1.7
Chest	9 -10.2	0.3
Abdomen	8 -12.5	
Back	7.8	
Upper arm	5 - 6.5	
Forearm	6 - 7.5	0.3-0.4
Back of hand	7.4	0.5
Palm of hand	1 - 5	0.4
Finger dorsal	7 - 9	1.7
Finger volar	2 - 4	1.6
Thigh	4.5- 5.2	0.4
Calf	4.3- 5.7	
Back of foot	5.6	
Sole of foot	3.4	

5.2.3 Termiska receptorer – Richard de Dear

Egenskaperna hos de termiska receptorerna bestämmer den termiska känslan och komfortreaktionen. En termisk receptor anpassar sig i hög grad då den påverkas av en plötslig förändring i temperaturen. Då temperaturen plötsligt förändras stimuleras receptorn kraftigt, men efter en minut börjar den långsamt återvända till ett normalt tillstånd. Detta illustreras i figur 10. Reaktionen hos de termiska receptorerna är mycket svagare i små förändringar av temperaturen. På grund av detta känner sig människan mycket kall då temperaturen hela tiden sjunker jämfört med när temperaturen hålls på samma nivå. Detta förklarar den extrema känslan av kallt eller varmt då en person stiger in i ett badkar med kallt eller varmt vatten i.³⁶

³⁶ de Dear 2014



Figur 10 Egenskaperna hos människans termiska receptorer. Thermal physiology and comfort, Hui Zhang.

5.3 VTT:s beräkningsmodell för termisk komfort

På den Teknologiska forskningscentralen VTT har man utvecklat en ny beräkningsmodell HTM (Human Thermal Model), som beskriver människans termiska trivsel. Modellen baserar sig på människans anatomi och fysiologi. Den estimerar den verkliga värmetekniska samverkan mellan människan och omgivningen som möjliggör betraktandet av olika vävnaders temperaturer lokalt. Med dessa temperaturer kan man uppskatta den enskilda människans termiska känsla och trivsel.

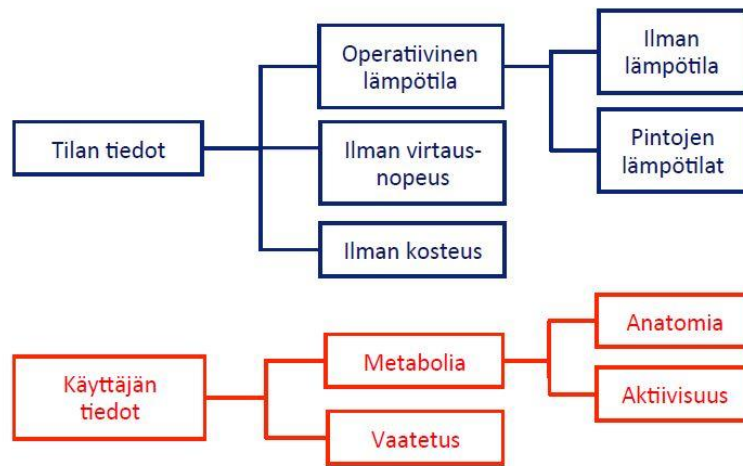
Människan spenderar ungefär 90 % av sin tid inomhus. Därför skulle det vara viktigt att identifiera den enskilda människans termiska behov, för att sedan kunna garantera lämpliga inomhusklimat. I flera undersökningar har människans vantrivsel inomhus berott på bristfälligt inomhusklimat där det antingen varit för varmt eller för kallt. Med lämpliga temperaturer kan man förbättra effektivitet, välmående och trivsel.³⁷

5.4 HTM-modellen

I modellen beskrivs människans känsla av värme med 16 kroppsdelar som är indelade i vävnader där varje vävnad är indelad i dess inre beståndsdelar. Till exempel armar och ben är indelade i ben, muskler, fett och hud. Fysiologisk värmeregulation har i modellen beskrivits som svettning och huttring, samt blodcirkulationens påverkan på blodådrornas utvidgning och strypning i olika kroppsdelars skikt. Vid beräkning av olika vävnaders temperaturnivåer med avseende på samverkan av klädsel och omgivning, tas i betraktande musklernas värmeproduktion under olika aktiviteter och olika vävnaders metabolistiska värmeproduktion, värmeavgivning genom strålning, konvektion, konduktion och fuktig värmetransport. Figur 11 illustrerar informationen som behövs för att beräkna människans känsla av värme. Den blåa texten beskriver omgivningen och den röda beskriver personen. Denna information kan matas in i modellen som uppskriven mätdata eller i realtid.³⁸

³⁷ VTT 2014

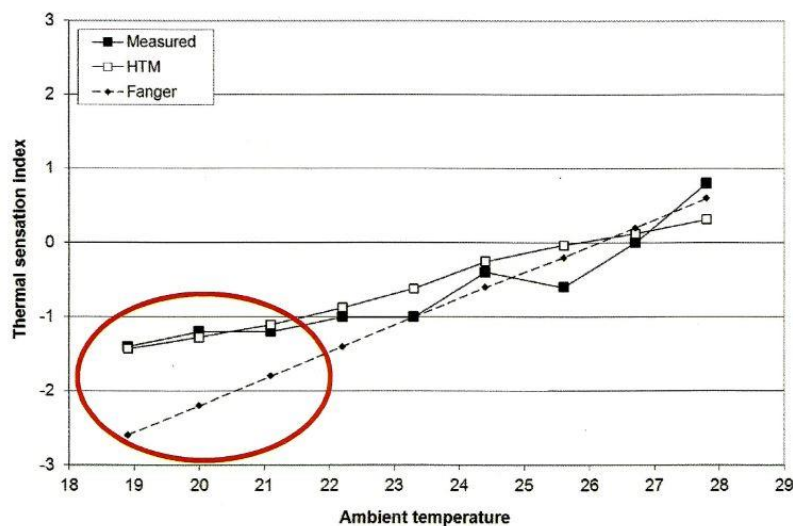
³⁸ VTT 2014



Figur 11 Informationen som krävs för att identifiera en persons termiska känsla. Ihmisen lämpöviihtyvyysmalli Human Thermal Modell (HTM), VTT.

5.4.1 Forskningsresultat av HTM-modellen

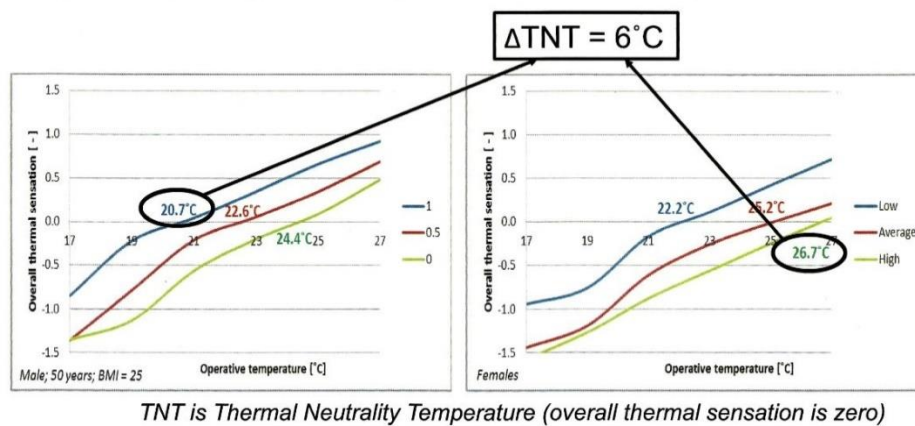
I figur 15 nedan illustreras försökspersonernas genomsnittliga resultat genom mätning, PMV av Fanger och VTT/HTM metoderna. I figuren ser man nio temperaturnivåer som sträcker sig från 18,9°C till 27,8°C och relativ fuktighet på 45 %. Figur 12 åskådliggör skillnaden i resultaten mellan de olika metoderna och mätsätten.³⁹



Figur 12 Termiska känslan beroende på undersöknings metoderna. HTM-malli osana suunnittelua sekä käytännön simulointiesimerkkejä, Johtava tutkija Pekka Tuomaala VTT.

³⁹ Tuomaala 2014

Med modellen undersöktes även den allmänna termiska känslan hos tre kvinnor och män med samma aktivitet, 1 met och samma klädsel, 0,86 clo. Operativa temperaturen varierade mellan 17°C – 27 °C. Figur 13 illustrerar resultaten.



Figur 13 Skillnaden i optimal inomhus temperatur mellan män och kvinnor av olika ålder och kroppsbyggnad samt fysiologi. HTM-malli osana suunnitelua sekä käytännön simulointiesimerkkejä, Johtava tutkija Pekka Tuomala VTT.

Resultaten visar att den optimala inomhustemperaturen kan variera med till och med 6°C beroende på individen. På basen av undersökningen drar VTT slutsatsen att individuell karakteristik har stor påverkan på den termiska känslan hos individer. Mängden muskler, fett, ålder och kön är slutligen det som får oss att uppleva miljöer på olika sätt.⁴⁰

⁴⁰ Tuomaala 2014

6 ETT NYTT SÄTT ATT KONSTRUERA BYGGNADER

White Paper: Thermal Architecture är en undersökning som är gjord av M. Iivonen med flera. Undersökningens huvudresultat är att definiera conceptet termisk arkitektur.

Byggnader ansvarar för ca 40 % av vår energikonsumption i EU (EC 2008). En stor del av energikonsumptionen orsakas av byggnadernas ventilation, värme och luftkonditioneringssystem. Energikonsumptionen har till och med ökat under de senaste åren eftersom byggnader konstrueras för termiskt statiska och konstanta förhållanden. Nya forskare och forskningsresultat har nu börjat finna bevis som tyder på att metoderna och standarderna enligt vilka hus konstrueras idag är föråldrade, då allt mer tyder på att människan trivs bäst i dynamiska, inte statiska klimat. Under de senaste 50 åren har man använt Fangers PMV metod för att estimerar termisk komfort i byggnader. Metoden i sig är enkel att använda och ger tydliga resultat, men den lämpar sig endast för byggnader där inomhusklimatet är statiskt och oföränderligt.

Professor Jan Hensen (1991) "On the thermal interaction of building structure and heating and ventilation system. Doctoral Dissertation, Technische Universiteit Eindhoven, The Netherlands" definierar termisk komfort som ett tillstånd där det inte finns drivande impulser att korrigera miljön genom beteende. Det innebär att termisk komfort enligt Hensens definition är en person i normal klädsel som varken känner sig varm eller kall. Flera forskare har utmanat denna idé. Till utmanarna hör bland flera andra exempelvis Rauno Holopainen med flera (2014) "*Comfort assessment in the context of sustainable buildings: Comparison of simplified and detailed human thermal sensation methods, Building and Environment, volym 71, sidorna 60-70*" och Hui Zhang (2003) för att Hensen påstår att statiska förhållanden skulle skapa den lämpligaste termiska komforten.

Redan år 1970 introducerade Cabanac sitt koncept *Alliesthesia*, som påstår att förändring i statiska förhållanden leder till sensorisk tillfredsställelse. Det finns mycket bevis för att människor upplever miljöer termiskt olika och därmed är Fangers PMV estimeringsmetod inte längre användbar eftersom den endast tar miljöer med statiskt klimat i beaktande.

Holopainen m.fl. (2013) har utvecklat en termisk simuleringsmodell av människan som uppskattar hur en person upplever termisk komfort. Modellen tar i betraktande människans anatomi, fysiologi och växelverkan mellan människa och omgivande utrymme. *Simuleringsresultaten har bland annat påvisat att optimal inomhustemperatur varierar till och med med 6°C beroende på individen*, vilket är en mycket betydande upptäckt eftersom den utmanar de finska byggnadsbestämmelserna, som tillåter en temperaturvariation på $\pm 1^\circ\text{C}$ från den optimala temperaturen som under sommartid är 23°C och vintertid 21°C.

Målet med denna undersökning är att introducera ett koncept för termisk arkitektur. Konceptet byggs upp genom att skapa en definition för termisk arkitektur och diskutera dess dimensioner och syfte. Sammanhanget för undersökningen är en kontorsbyggnad där en person utför sin arbetsuppgift. I framställandet av undersökningen deltog flera finländska specialister från olika institut och privata företag. I undersökningen argumenteras att termisk arkitektur skulle skapa bättre termisk komfort. Termisk komfort hos en individs behov definieras i tre nivåer. De tre nivåerna är tidsliga, rumsliga och individuella. I undersökningen identifierades tre dimensioner för termisk arkitektur. Dessa var: en modell över människans termiska komfort i inomhusklimat, uppmätta termiska förhållanden i inomhusklimat och upplevd termisk komfort av en person.

Huvudiakttagelsen i undersökningen var definitionen för konceptet termisk arkitektur som definieras enligt följande: Termisk arkitektur är kunskapen om och förmågan att kunna identifiera samt uppfylla de individuella behoven för termisk komfort hos en person i inomhusmiljö, lokalt, individuellt och vid alla tidpunkter. Dessutom skall termiskt uppfriskande fenomen så som alliesthesia tas i beaktande. Definitionen för termisk arkitektur i denna undersökning är bland de första försöken att komma på en allmän definition för termisk komfort som berör intressenter i byggnadsbranschen.⁴¹

⁴¹ M. Iivonen et al 2014. Originaltext: "*Thermal architecture is competence and capability to identify and ability to fulfill the individual thermal condition needs of an occupant. Thermal architecture pursues to fulfill occupants' needs of thermal comfort in spatially, individually, locally and at all times. In addition, it should take into account thermal refreshing phenomena such as alliesthesia*".

6.1 Byggnadskonstruktion enligt Mikko Iivonen m.fl.

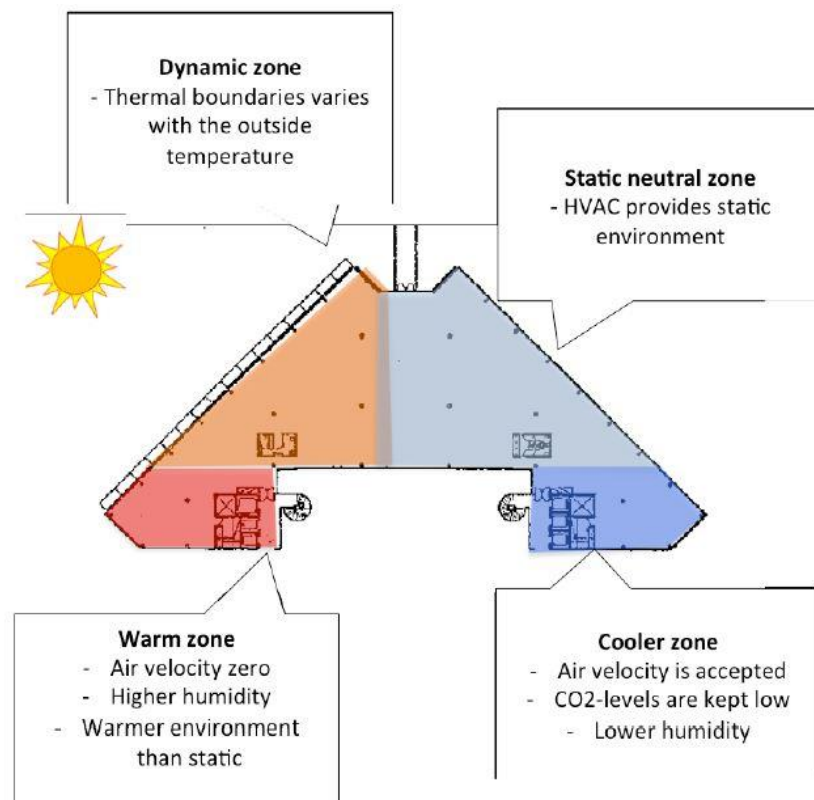
Nedan presenteras olika synsätt på hur en byggnad borde konstrueras beroende på dess ändamål. Enligt Iivonen med fleras artikel *White Paper: Thermal Architecture* från år 2014 finns det olika sätt att konstruera kontorsbyggnader. I artikeln delar skribenterna in byggnadssätten i tre olika sätt. Det första är kontorsbyggnadens konstrueringsprincip från en ekonomiskt insats perspektiv, där *ekonomisk insats* är ett mått på hur mycket man får ut av en specifik insats. *Insatsen* definieras i timmar som en arbetare lägger ner för att skapa inkomster till sitt företag. Villkoren för termiska inomhusklimat i denna typ av kontorsbyggnad är statiska och oföränderliga termiska förhållanden där byggnaden är luftkonditionerad. Estimeringsmetoden för det termiska klimatet är Fangers PMV-PPD metod.

Det andra konstrueringsperspektivet är från en kontorsbyggnad som med minimal pengainsats klarar av att skapa tillfredsställande termiska förhållanden under största delen av tiden. Det innebär att byggnadens ägare kan spara pengar på luftkonditioneringssystemen om denna går med på en större variation i termisk komfort. Idén baserar sig på studier gjorda av Nicol och Humphrey 2002 (i undersökningen vid namn "*The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments, Energy and Build-ings, volym 34 sidorna 667-684*"). De godkänner tanken om att statiska inomhusklimat inte alltid är nödvändiga eller optimala. Därmed baserar sig detta perspektiv på ett dynamiskt inomhusklimat med motiveringen att människor till sin natur vänjer sig vid större temperaturvariationer än temperaturerna i Fangers PMV-PPD metod. Kontorsbyggnaden kan summeras som pengasparande för dess ägare, ett varierande termiskt inomhusklimat dock med en viss godkänd tolerans. Byggnadens ventilation är utförd med självdrag och dess estimeringsmodell är tillämpad termisk komfortteori (*Adaptive thermal comfort theory*) .

Det tredje konstrueringsperspektivet är en kontorsbyggnad som är indelad i olika zoner med varierande, reglerbara och lokala termiska förhållanden. Den anställda kan reglera den termiska komforten i en zon eller förflytta sig till en annan zon som passar henne/honom bäst. I denna byggnad skulle 100 % av personerna vara nöjda med de termiska förhållandena. Byggnadens klimat skulle styras lokalt med olika regleringsmekanismer. Byggnadsperspektivet baserar sig på fenomenet alliesthesia som

påvisades av fysiologen Michel Cabanac. Som estimeringsmetod för den termiska komforten skulle användas VTT:s HTM-Modell.

Det huvudsakliga målet med termisk arkitektur är att öka människornas termiska komfort. Processen börjar med att indentifiera de termiska behoven i tre steg, tidsmässigt, rumsligt och individuellt. Dessa faktorer lägger grunden till att uppnå termisk komfort i en byggnad. Efter att man identifierat personens behov fortsätter man med att konstruera utrymmen och lösningar som bidrar till att skapa termisk komfort. Nyckelfrågan i termisk arkitektur är att utveckla och konstruera nya lösningar, som till exempel illustreras av figur 14 där byggnaden delas in i zoner som utnyttjar fenomenet *alliesthesia* för att skapa termisk komfort.⁴²



Figur 14 Ritning av Nokias huvudkontor som är indelat i olika zoner för att skapa ett dynamiskt klimat. White paper: Thermal Architecture, Mikko Iivonen Rettig ICC m.fl.

⁴² M. Iivonen et al 2014

6.2 Byggnadskonstruktion enligt Richard de Dear

Richard de Dear, professor i arkitektur och design vid University of Sydney, har i sin artikel ”*Thermal counterpoint in the phenomenology of architecture – A Psychophysiological explanation of Heschong’s ‘Thermal Delight’*” skrivit om kritiken mot de existerande sättet att konstruera byggnader. Vanligen används halva mängden av en kommersiell byggnadsenergi till att skapa termiskt neutrala inomhusklimat. I industriländer spenderar vi över 90 % av våra liv i skapade inomhusmiljöer, som är avstängda från resten av världen och reglerade med hjälp av ventilation. I regel har dessa inomhusklimat en temperatur kring 22°C även om de är mycket energiintensiva att upprätthålla. Nackdelen är att dessa energiintensiva miljöer inte klarar av att tillfredsställa mer än 80 % av dess individer.

Fenomenet alliesthesia möjliggör upplevandet av välbehag på grund av variation i den miljön i vilken vi befinner oss. Denna känsla av välbehag blir tagen ifrån oss då ingenjörer konstruerar byggnader där all variation från miljön elimineras och miljön istället görs statisk. När vi konstruerar byggnader med utrymmen som både tidsmässigt och rumsligt är termiskt neutrala upphör byggnaden att existera från en fysiologisk synvinkel.

Det tjugoförsta århundradets livstil är att konstruera byggnader med ventilation. Ventilationsföretagen grundar sina idéer för en termiskt neutral miljö nästan helt och hållet på Fangers PMV modell av termisk komfort, vilket leder till att vi skapar statiska inomhusklimat som är fundamentalt onaturliga för människan och dessutom inte klarar av att skapa välbehag för mer än 80 % av individerna. På något sätt har vi okritiskt gått med på att termiskt statiska klimat är bättre än termiskt dynamiska klimat som aktiverar vårt sensoriska system och sammanhörande fysiologiska temperatur reglering.⁴³ Detta är något som de nya forskningsresultaten starkt ifrågasätter.

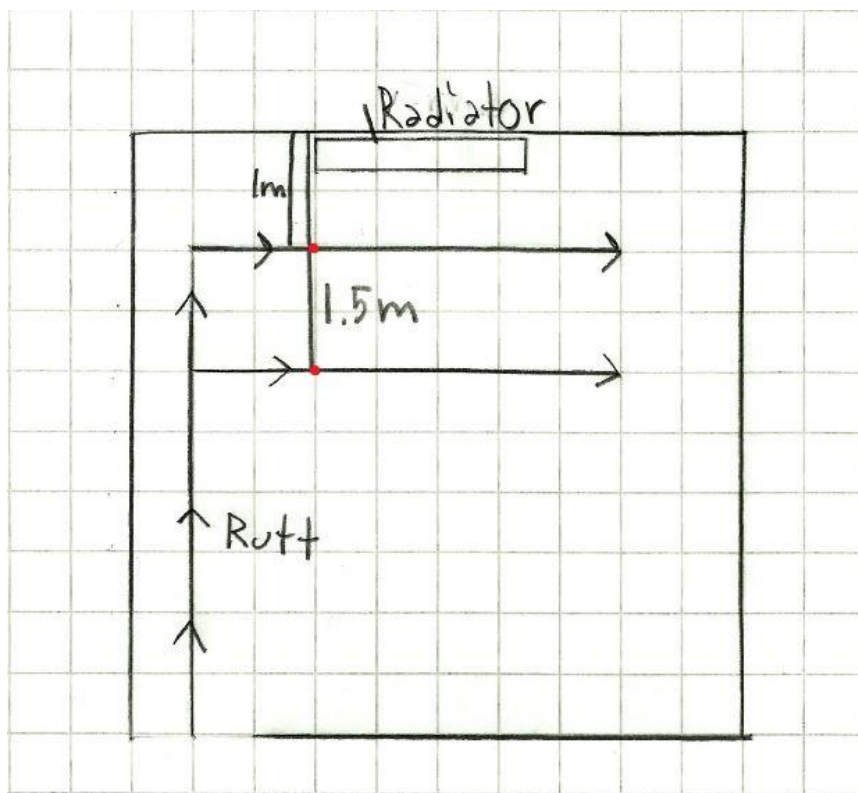
⁴³ de Dear 2014

7 EGEN UNDERSÖKNING

I undersökningen gjordes en kvantitativ analys av människans känslighet till en riktad värmekälla.

Målsättningen med undersökningen är att undersöka hur känslig en individ är till en plötslig förändring av temperaturen då hen passerar en värmekälla, dvs om individen reagerar till en förändring av den riktade operativa temperaturen. Testutrustningen bestod av en värmekälla i detta fall ett elektriskt värme-element (radiator) med yttemperaturen 46°C, som monterades på väggen i ett testrum som mätte 2,95x2,95m. Elementet (560x500mm) monterades på en höjd av 1,1 m mätt från elementets mittpunkt.

Själva testet gick ut på att låta 5 försökspersoner av varierande ålder och kön passera elementet först på ett avstånd av 1 m och därefter på ett avstånd av 1,5 m mätt från ytterarm. Försökspersonerna rörde sig enligt en på förhand bestämd rutt och med två olika klädseluppsättningar, en med clo värde 0.1 och en annan med clo värde 0.8. Vardera klädseln testades först på 1 m avstånd och därefter på 1,5 m avstånd. Totalt gjordes 20 mätningar, dvs 4 mätningar per testperson. Testrummet och testrutten finns beskrivna i figur 15.



Figur 15 Rutten som försökspersonerna följde

Försökspersonerna fick till uppgift att stanna upp om de upplevde en förändring i temperatur som en följd av elementets värmeutstrålning med givet avstånd och klädsel. Ett mått på hur långt försökspersonen hade passerat elementet innan hon stannade upp registrerades, som nollpunkt användes elementets kant, dvs två punkter i linje med elementets sida på avståndet 1 och 1.5m. Nollpunkterna är markerade med rött i figur 15.

Följande mätdata samlades upp:

Tabell 4 Hur lång sträcka personerna rörde sig från nollpunkten längs med elementet före hen stannade upp.

clo 0.1			clo 0.8		
Person	1m	1.5m	Person	1m	1.5m
1	18cm	35.5cm	1	20.5cm	37cm
2	10cm	15cm	2	15cm	32cm
3	12cm	26.5cm	3	23cm	39cm
4	16cm	22cm	4	35.5cm	47cm
5	18cm	32cm	5	25cm	37.5cm

På basen av mätresultaten gjordes en datamodell som simulerades med hjälp av programmet IDA ICE på företaget EQUA.

Följande information matades in i IDA ICE:

- Areal på testrummets golv, väggar och tak
- Areal på värme-elementet
- Temperatur på golv, väggar, tak, och värmekällan
- Inne- och utetemperatur
- Mått på elementets placering

Med hjälp av simuleringen erhöles data på de riktade operativa temperaturskillnaderna som presenteras i tabell 5.

Tabell 5 IDA ICE simulerings resultaten, riktade operativa temperaturerna.

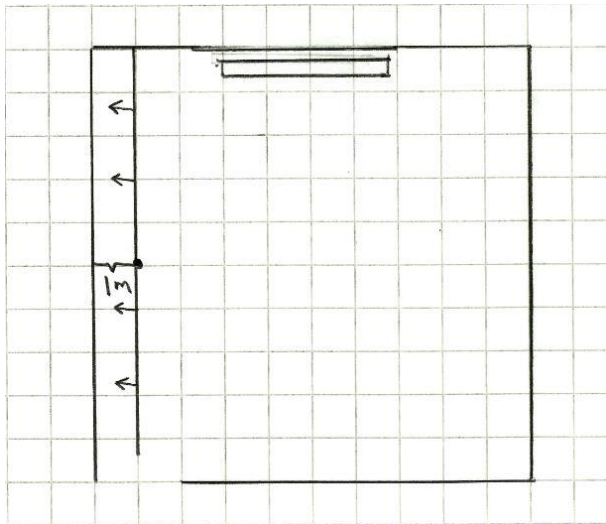
	Riktad operativ temp 0,1 clo			Riktad operativ temp 0,8 clo	
Person	1 m	1,5 m	Person	1 m	1,5 m
1	0.18	0.355	1	0.205	0.37
2	0.1	0.15	2	0.15	0.32
3	0.12	0.265	3	0.23	0.39
4	0.16	0.22	4	0.355	0.47
5	0.18	0.32	5	0.25	0.375
Medeltal	0.148	0.262	Medeltal	0.238	0.385
Riktad operativ temperatur °C framför värmeelementet	23.082	22.943		23.088	22.943
Jämförelsevärde** 22.896°C					

Eftersom skillnaderna i hur lång sträcka personerna rörde sig längs med elementet är så små räknades det ett medeltal av värdena. De olika värdena är skrivna med blå text i tabell 5. De gröna värdena är medeltalet av personernas gångsträcka förrän de stannade upp.

Värdena som anges i raden Riktad operativ temperatur °C och är skrivna med rött utgör medelvärden för de riktade operativa temperaturerna framför elementet, simulerade utgående från mätvärdena i tabell 4 och 5. Jämförelsevärdet som är markerat med rött i

tabellen och har värdet 22.896°C anger en punkt i rummet se figur 16 där personen har påverkats av den riktade operativa temperaturen från den närmaste väggen som förekommer vid punkten.

Personen spenderade en kort tid vid jämförelsepunkten i rummet tills hen ansågs vara acklimatiserad, dvs att individens kropp har anpassat sig till klimatet. Jämförelsepunkten ligger på mittpunkten av en vägg på avståndet 1m från väggen. När man granskar simulerings resultaten kan man se att skillnaderna mellan jämförelsevärdet och de simulerade riktade operativa temperaturerna på olika avstånd och med olika klädsel, är mycket små. Detta antyder att människans känner av små förändringar i den operativa temperaturen.



Figur 1 Jämförelsevärdet

8 KONKLUSION

Forskningen inom termisk komfort och det termiska klimatet är av stor betydelse då det gäller byggnadskonstruktion. Den termiska komforten lägger grunden för det välbefinnande eller obehag som människan känner i en inomhusmiljö, vilket i sin tur är av avgörande betydelse för de metoder och standarder enligt vilka nya byggnader konstrueras.

Eftersom tidigare forskningsresultat kommit fram till att ett statiskt klimat utgör den högsta termiska komforten för en individ har man följaktligen skapat metoder och standarder som baserar sig på detta antagande. När man nu med hjälp av begreppet alliesthesia fått nya resultat som tyder på att det är dynamiska klimat som utgör den högsta termiska komforten finns det orsak att se över de rådande metoderna och standarderna.

Detta innebär att de rådande metoderna och standarderna kan basera sig på felaktiga slutsatser och att dessa bör omkullkastas och att man istället bör ta de nya forskningsresultaten i betraktande och skapa nya metoder och standarder för byggnadskonstruktionen. Detta betyder även att individen och individens upplevelse av termisk komfort bör vara en central, om inte avgörande, faktor då man konstruerar byggnader.

Den egna undersökningen tyder på att vi har förmågan att upptäcka mycket små förändringar i den riktade operativa temperaturen. På basen av undersökningsresultaten uppstår frågan varför vi försöker förtränga människans förmåga att känna, genom att skapa homogena inomhusklimat, då vi lika väl skulle kunna skapa mångsidiga och varierande inomhusklimat som skulle kunna ge oss bättre komfort? Till exempel anses fönster orsaka stora värmeförluster och skapa kallras, men även detta borde ifrågasättas. En kontorsarbetare som spenderar en stor del av sin arbetstid framför sin dator i ett klimat som inte förändras tycker sannolikt att det är uppfriskande att stå framför ett fönster och bemöta ett annat klimat.

Man kan utgå ifrån att resultatet från den egna undersökningen kan anses riktingivande eftersom det följer ett mönster och dessutom att alla försökspersoner reagerade lika då de passerade elementet. Då man jämför värdena för de riktade operativa temperaturerna

framför elementet med jämförelsevärdet, märker man att skillnaderna är mycket små. Man kan därför dra slutsatsen att människan mycket lätt förnimmar små förändringar i den riktade operativa temperaturen.

Med hjälp av liknande lokal avkylning och uppvärmning som nämnts tidigare skulle vi även kunna spara stora mängder energi. I dagens kontorsbyggnader använder vi enorma mängder energi till att värma och kyla stora massor, då detta istället skulle kunna skötas lokalt. Ett exempel på detta är en man som vistas i ett rum i en byggnad som har låg inomhustemperatur, men genom att mannen tar tag i cirkulationsröret för varmvattnet känner han sig belåten. Vi konstruerar till exempel byggnader med golvvärme som skapar homogena klimat och använder stora mängder energi till detta när vi i stället exempelvis skulle kunna gå med tofflor på.

Dessa tankar gällande inomhustrivsel är nya för branschen och jag hoppas att denna undersökning skulle kunna fungera som grund för fortsatt forskning i hopp om att konstruera byggnader där man i större grad tar i beaktande människans trivsel.

Eftersom vi idag med säkerhet vet att inomhusklimatet påverkar människans prestationsförmåga på flera plan borde det inte råda någon tvivel om att de nya forskningsresultaten bör tas på allvar. Vårt tänkande, vår förmåga att observera, vår fysiska arbetsförmåga samt även vår konstruktiva förmåga och kreativitet fungerar bäst då vi upplever att det är lite på den varmare sidan medan däremot ett aningen svalare inomhusklimat ökar vår koncentration och förmåga att upptäcka signaler är det ett bevis på att det är ett dynamiskt klimat som utgör den högsta nivån av termisk komfort för människan.

Om målet med byggnadskonstruktion är att människan skall leva i en miljö med möjligast hög termisk komfort bör nya forskningsresultat begrundas med omsorg och sedan tillämpas i byggnadskonstruktionsmetoderna och standarderna. Detta kan innebära att vi måste se över och möjligen omkullkasta de rådande metoderna och standarderna.

8 BILAGOR

9 KÄLLFÖRTECKNING

9.1 Tryckta källor

Holmér 1985

Holmér Ingvar, *VVS & Energi*, 4/1985, Människa och klimat

Magnusson 1985

Magnusson Lennart, *VVS & Energi*, 4/1985, Mätning och bedömning av termiskt inneklimat

Olesen 1985

Olesen W Bjarne, *VVS & Energi*, 4/1985, Inneklimat och välbefinnande

M. Iivonen et al. 2014

Iivonen Mikko, Viljanen Jere, Kajander Juho-Kusti, Holopainen Rauno, Laiho Gunilla, Lestinen Sami, Luminen Heikki, Maula Henna, Myllymaa Hannu, Paronen Lauri, Santala Ville-Veikko, Tuomaala Pekka, Rym OY SY sisäympäristö, 2014, White Paper: Thermal Architecture

Tuomaala 2014

Tuomaala Pekka, 2014, VTT, HTM-malli osana suunnittelua sekä käytännön simulointiesimerkkejä

9.2 Elektroniska källor

Gavhed 2006

Gavhed Désirée, Holmér Ingvar, 2006, Det termiska klimatet på arbetsplatsen.

Arbetslivs institutet, Lundstekniska högskola, Arbetslivsrapport nr 2006:2

Tillgänglig; http://nile.lub.lu.se/arbarch/arb/2006/arb2006_02.pdf (Hämtad 3.3.2015)

http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=39155

ISO 7730:2005 2005.15.11, 52 sidor

(Hämtad 27.2.2015)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Alliesthesia>

(Hämtad 15.2.2015)

Rym Oy 2014

RYM Oy, 2014, Publicerad 2014.15.12. HTM-malli osoittaa: Ihmisten lämpöaistimuksissa on huimia eroja

Tillgänglig: <http://rym.fi/fi/htm-malli-osoittaa-ihmisten-lampoistimuksissa-on-huimia-eroja/>

(Hämtad 10.3.2015)

http://en.wikipedia.org/wiki/ASHRAE_55

(Hämtad 10.3.2015)

De Dear Richard, 2014, Thermal counterpoint in the phenomenology of architecture – A Psychophysiological explanation of Heschong's 'Thermal Delight'

Richard de Dear, PhD, Faculty of Architecture, Design and Planning, The University of Sydney, Sydney, NSW 2006, Australia

Tillgänglig: <http://www.plea2014.in/wp-content/uploads/2015/01/PLEA-2014-Keynote-Final-Richard-de-Dear-.pdf>

(Hämtad 12.3.2015)

Zhang Hui, 2003, Human Thermal Sensation and Comfort in Transient and Non-Uniform Environments

University of California, Berkeley

Tillgänglig: <https://escholarship.org/uc/item/11m0n1wt#page-1>

(Hämtad 8.3.2015)

Huizenga 2001

Huizenga Charlie, Zhang Hui, Arens Edward A, 2001, A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments

University of California, Berkeley

Tillgänglig: <https://escholarship.org/uc/item/3sq8z441>

(Hämtad 11.3.2015)

Zhang Hui, 2013, Thermal physiology and comfort

Advanced Research Projects Agency - Energy - U.S. Department of Energy

1000 Independence Ave SW - Washington, DC 20585

Tillgänglig: <http://www.arpa->

[e.energy.gov/sites/default/files/documents/files/Personal_Thermal_Workshop_Zhang_Presentation.pdf](http://www.arpa-energy.gov/sites/default/files/documents/files/Personal_Thermal_Workshop_Zhang_Presentation.pdf)
(Hämtad 27.2.2015)

VTT, 2014, Ihmisen lämpöviihtyvyysmalli Human Thermal Model (HTM)

Rym Oy

Tillgänglig: http://rym.fi/wp-content/uploads/2014/12/HTM_esite1.pdf

(Hämtad 14.3.2015)

Nilsson 2000

Nilsson Per-Erik, 2000, God Inomhusmiljö - en handbok för fastighetsägare

Fastighetsägarna, Drottninggatan 33, Stockholm

Tillgänglig:

http://www.fastighetsagarna.se/MediaBinaryLoader.axd?MediaArchive_FileID=e5d69047-f45d-42ea-957d-0506c7a98390

(Hämtad 10.3.2015)

Cabanc 1968

Cabanac M, Minaire Y, Adair ER. Influence of internal factors on the pleasantness of a gustative sweet sensation. *Communic Behav Biol Part A* 1968; 1:77-82.

(Hämtad 15.2.2015)